

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-193899

(43)Date of publication of application : 14.07.2000

(51)Int.Cl.

G02B 26/08  
H04N 5/74

(21)Application number : 11-368111

(71)Applicant : TEXAS INSTR INC <TI>

(22)Date of filing : 24.12.1999

(72)Inventor : MARSHALL STEPHEN W

(30)Priority

Priority number : 98 114277 Priority date : 30.12.1998 Priority country : US

## (54) ANALOG PULSE WIDTH MODULATION OF IMAGE DATA

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a DMD(Digital Micro-mirror Device) small in power consumption.

SOLUTION: In a micro-mirror capable of modulating the analog pulse width and its method, a capacitor 406 of each micro-mirror element stores the charge to express one picture element of the image data. A comparator 414 compares the image data signal stored in the capacitor 406 with the reference signal from a reference signal generator 416. According to the result of comparison, an address electrode 418 of the micro-mirror is biased to polarize the micro-mirror 412. As the image data charge stored in the capacitor 406 or the reference voltage is changed, the output of the comparator 414 is changed to change the position of the micro-mirror 412.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

## Analog pulse width modulation of video data

Patent Number: EP1017038, A3  
 Publication date: 2000-07-05  
 Inventor(s): MARSHALL STEPHEN W (US)  
 Applicant(s): TEXAS INSTRUMENTS INC (US)  
 Requested Patent: JP2000193899  
 Application Number: EP19990204581 19991223  
 Priority Number(s): US19980114277P 19981230  
 IPC Classification: G09G3/34  
 EC Classification: G09G3/34  
 Equivalents:  
 Cited Documents: EP0520481; EP0731444; EP0598308; EP0610665

### Abstract

A micromirror capable of analog pulse width modulation, and method thereof. A capacitor (406) in each micromirror element stores a charge representative of one pixel of image data. A comparator (414) compares the image data signal stored on the capacitor (406) to a reference signal from a reference signal generator (416). Depending on the results of the comparison, the address electrodes (418) of the micromirror are biased to deflect the micromirror (412). As either the image data charge stored on the capacitor (406), or the reference voltage changes, the output of the comparator (414) changes to alter the position of the

micromirror (412).



Data supplied from the esp@cenet database - I2

## Description

### FIELD OF THE INVENTION

[0001] This invention relates to the field of display systems, more particularly to micromirror-based display systems, still more particularly to bistable micromirror-based display systems that perform analog pulse width modulation.

### BACKGROUND OF THE INVENTION

[0002] Micromechanical devices are small structures typically fabricated on a semiconductor wafer using techniques such as optical lithography, doping, metal sputtering, oxide deposition, and plasma etching which have been developed for the fabrication of integrated circuits.

[0003] Digital micromirror devices (DMDs), sometimes referred to as deformable micromirror devices, are a type of micromechanical device. Other types of micromechanical devices include accelerometers, pressure and flow sensors, gears and motors. While some micromechanical devices, such as pressure sensors, flow sensors, and DMDs have found commercial success, other types have not yet been commercially viable.

[0004] Digital micromirror devices are primarily used in optical display systems. In display systems, the DMD is a light modulator that uses digital image data to modulate a beam of light by selectively reflecting portions of the beam of light to a display screen. While analog modes of operation are possible- (i.e. modes in which the mirror deflection is a function of the input data or bias voltage) DMDs typically operate in a digital bistable mode of operation in which the mirror is fully deflected at all times regardless of the image data applied to the mirror.

[0005] Micromirrors have evolved rapidly over the past ten to fifteen years. Early devices used a deformable reflective membrane which, when electrostatically attracted to an underlying address electrode, dimpled toward the address electrode. Schlieren optics illuminate the membrane and create an image from the light scattered by the dimpled portions of the membrane. Schlieren systems enabled the membrane devices to form images, but the images formed were very dim and had low contrast ratios, making them unsuitable for most image display applications.

[0006] Later micromirror devices used flaps or diving board-shaped cantilever beams of silicon or aluminum, coupled with dark-field optics to create images having improved contrast ratios. Flap and cantilever beam devices typically used a single metal layer to form the top reflective layer of the device. This single metal layer tended to deform over a large region, however, which scattered light impinging on the deformed portion. Torsion beam devices use a thin metal layer to form a torsion beam, which is referred to as a hinge, and a thicker metal layer to form a rigid member, or beam, typically having a mirror-like surface: concentrating the deformation on a relatively small portion of the DMD surface. The rigid mirror remains flat while the hinges deform, minimizing the amount of light scattered by the device and improving the contrast ratio of the device.

[0007] Recent micromirror configurations, called hidden-hinge designs, further improve the image contrast ratio by fabricating the mirror on a pedestal above the torsion beams. The elevated mirror covers the torsion beams, torsion beam supports, and a rigid yoke connecting the torsion beams and mirror support, further improving the contrast ratio of images produced by the device.

[0008] All micromirror-based projection displays use pulse-width modulation to control the amount of light that reaches each pixel of an image plane. Typical pulse width modulation schemes divide a frame period into binary bit periods. Each image data bit in the input data word controls the operation of the mirror during one bit period. Thus, if the bit is active, the mirror is turned "ON" during the bit period and light from a light source is directed to the image plane during the bit period. If the image data bit is not active, the mirror is turned "OFF" during the bit period and light from the light source is directed away from the image plane during the bit period. The human eye, or other photoreceptor, integrates the energy directed to each pixel to create the perception of intermediate intensity levels. Typical binary pulse width modulation systems divide the larger bit periods into two or more bit-splits which are distributed throughout the frame period. Spreading the contribution of the large data bits throughout the frame period eliminates some of the artifacts created by the binary pulse width modulator schemes.

[0009] While not described above, the creation of full-color image requires three DMD spatial light modulators simultaneously producing monochromatic images. The three primary monochromatic images are then superimposed over one another to create a single full-color image. Alternatively, a single DMD is used in combination with a color wheel or other sequential filter mechanism. The color wheel divides the white light beam into three primary color monochromatic light beams that are sequentially modulated to create single-color sub-images. The three primary color monochromatic images are integrated by the viewer to create the perception of a single full-color image.

[0010] Although binary pulse width modulation provides a convenient means to create intermediate intensity levels and utilizes binary data that is easily processed to improve the displayed images, binary pulse width modulation systems require a very large amount of memory and processing hardware. Thus, although DMD-based display systems are capable of creating virtually perfect images, the cost of such image quality drives the DMD-based projection system out of the reach of many consumers. What is needed is a method and system for creating high-quality images with display systems having much less processing power

## SUMMARY OF THE INVENTION

[0011] The present teachings disclose a method and system for analog pulse width modulation of a spatial light modulator. One disclosed embodiment provides a method of operating an element of the spatial light modulator. The method comprises the steps of providing a pixel data signal and a reference signal to the element, comparing the pixel data signal and the reference signal as at least one of the signals changes, and operating the element according to the results of the comparison. The reference voltage is typically a ramping voltage that also performs a degamma operation.

[0012] According to another disclosed embodiment, a micromirror device is provided. The micromirror device comprises at least two address electrodes, a deflectable mirror element suspended above the address electrodes, a capacitor for storing charge representing an image data signal, a reference voltage input, and a comparator for receiving the image data signal and the reference voltage. The comparator compares the reference voltage input and the image data signal and provides address voltages to the address electrodes to cause a deflection of the deflectable mirror element.

[0013] Yet another disclosed embodiment provides the analog pulse width modulated micromirror cell in a display system. The display system comprises a light source for providing a beam of light along a light path, an array of micromirror cells on the light path, each micromirror cell operable to selectively reflect incident light along a projection path, a controller for providing the image data signal to the micromirror array, and projection optics on the projection path. The projection optics focus the selectively reflected incident light on an image plane. Each micromirror cell in the display comprises: at least two address electrodes, a deflectable mirror element suspended above the address electrodes, a capacitor for storing a charge representative of an image data signal, a reference voltage input, and a comparator for receiving the image data signal and the reference voltage, the comparator arranged for comparing the reference voltage input and image data signals and providing address voltages to the two address electrodes to cause a deflection of the deflectable element.

[0014] The disclosed analog pulse width modulation scheme and micromirror greatly reduce the hardware heretofore required to produce a pulse width modulated video image using a micromirror device. The reduction in circuitry and frame memory greatly reduces the cost of micromirror based display systems. Furthermore, many of the artifacts created by the binary time division modulation schemes are eliminated.

## BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0015] For a more complete understanding of the present invention, and the advantages thereof, reference is now made to the following descriptions taken in conjunction with the accompanying drawings, in which:

[0016] FIGURE 1 is a perspective view of a small portion of a micromirror array.

[0017] FIGURE 2 is an exploded perspective view of a single micromirror element from the micromirror array of Figure 1.

[0018] FIGURE 3 is a plan view of a digital micromirror device according to a disclosed embodiment of the present invention.

[0019] FIGURE 4a is a schematic view of one embodiment of one element in the digital micromirror array of Figure 3 operable to perform analog pulse width modulation.

[0020] FIGURE 4b is a schematic view of another embodiment of one element in the digital micromirror array of Figure 3 operable to perform analog pulse width modulation.

[0021] FIGURE 5a is a plot of the output reference voltage generator of Figures 4a and 4b.

[0022] FIGURE 5b is a plot of pixel voltage data for a single pixel over two frames.

[0023] FIGURE 5c is a plot showing the mirror position for a micromirror cell having the pixel data of Figure 5b and the reference voltage input of Figure 5a.

[0024] FIGURE 6a is a plot of the output reference voltage generator of Figures 4a and 4b.

[0025] FIGURE 6b is a plot of pixel voltage data for a first pixel.

[0026] FIGURE 6c is a plot of pixel voltage data for a second pixel.

[0027] FIGURE 6d is a plot showing the mirror position for a micromirror cell having the pixel data of Figure 6b and the reference voltage input of Figure 6a.

[0028] FIGURE 6e is a plot showing the mirror position for a micromirror cell having the pixel data of Figure 6c and the reference voltage input of Figure 6a.

[0029] FIGURE 7 is a schematic view of one micromirror cell embodiment showing the selection of a global reset waveform.

[0030] FIGURE 8 is a schematic view of one micromirror cell embodiment showing the local generation of a reset waveform.

[0031] FIGURE 9 is a schematic view of a micromirror-based projection system utilizing an analog pulse width modulated micromirror device according to one embodiment of the present invention.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

[0032] A new modulation technique and micromirror have been developed to allow analog pulse width modulation of each element of a spatial light modulator. The ability to receive analog image data eliminates, or significantly reduces, the image processing hardware typically required to produce digital pulse width modulated images. Thus, the methods and systems disclosed herein enable low-cost spatial light modulator-based systems. The methods and systems disclosed are particularly useful for providing low-cost micromirror-based display systems since the digital micromirror devices are not easily driven in an analog manner.

[0033] Although the following description specifically describes the operation of the disclosed invention in terms of digital micromirror devices, it should be understood that such description is for the purposes of illustration and not for purposes of limitation. The inventive aspects described are equally applicable to other spatial light modulators such as liquid crystal devices.

[0034] A typical hidden-hinge DMD 100 is actually an orthogonal array of DMD cells, or elements. This array often includes more than a thousand rows and columns of DMD cells. Figure 1 shows a small portion of a DMD array with several mirrors 102 removed to show the underlying mechanical structure of the DMD array. Figure 2 is an exploded view of a single DMD element further detailing the relationships between the DMD structures.

[0035] A DMD is fabricated on a semiconductor, typically silicon, substrate 104. Electrical control circuitry is typically fabricated in or on the surface of the semiconductor substrate 104 using standard integrated circuit process flows. This circuitry typically includes structures necessary to receive image data and to generate mirror control signals dependent on the image data. Voltage driver circuits for driving bias and reset signals to the mirror superstructure may also be fabricated on the DMD substrate, or may be external to the DMD. For the purposes of this disclosure, addressing circuitry is considered to include any circuitry, including direct voltage connections, used to control the direction of rotation of a DMD mirror. The addressing circuitry will be discussed in much more detail below.

[0036] The silicon substrate 104 and any necessary metal interconnection layers are isolated from the DMD superstructure by an insulating layer 106 which is typically a deposited silicon dioxide layer on which the DMD superstructure is formed. Holes, or vias, are opened in the oxide layer to allow electrical connection of the DMD superstructure with the electronic circuitry formed in the substrate 104.

[0037] The first layer of the superstructure is a metalization layer, typically the third metalization layer and therefore often called M3. The first two metalization layers are typically required to interconnect the circuitry fabricated on the substrate. The third metalization layer is deposited on the insulating layer and patterned to form address electrodes 110 and a mirror bias connection 112. Some micromirror designs have landing electrodes which are separate and distinct structures but are electrically connected to the mirror bias connection 112. Landing electrodes limit the rotation of the mirror 102 and prevent the rotated mirror 102 or hinge yoke 114 from touching the address electrodes 110, which have a voltage potential relative to the mirror 102. If the mirror 102 contacts the address electrodes 110, the resulting short circuit could fuse the torsion hinges 116 or weld the mirror 102 to the address electrodes 110, in either case ruining the DMD.

[0038] Since the same voltage is always applied both to the landing electrodes and the mirrors 102, the mirror bias connection and the landing electrodes are preferably combined in a single structure when possible. The landing electrodes are combined with the mirror bias connection 112 by including regions on the mirror bias/reset connection 112, called landing sites, which mechanically limit the rotation of the mirror 102 by contacting either the mirror 102 or the torsion hinge yoke 114. These landing sites are often coated with a material chosen to reduce the tendency of the mirror 102 and torsion hinge yoke 114 to stick to the landing site.

[0039] Mirror bias/reset voltages travel to each mirror 102 through a combination of paths using both the mirror bias/reset metalization 112 and the mirrors and torsion beams of adjacent mirror elements. The landing electrode/mirror bias 112 configuration shown in Figure 1 is ideally suited to split reset applications since the DMD elements are easily segregated into electrically isolated rows or columns simply by isolating the mirror bias/reset layer between the subarrays. The mirror bias/reset layer of Figure 1 is shown divided into rows of isolated elements.

[0040] A first layer of supports, typically called spacervias, is fabricated on the metal layer forming the address electrodes 110 and mirror bias connections 112. These spacervias, which include both hinge support spacervias 116 and upper address electrode spacervias 118, are typically formed by spinning a thin spacer layer over the address electrodes 110 and mirror bias connections 112. This thin spacer layer is typically a 1  $\mu$ m thick layer of positive photoresist. After the photoresist layer is deposited, it is exposed, patterned, and deep UV hardened to form holes in which the spacervias will be formed. This spacer layer and a thicker spacer layer used later in the fabrication process are often called sacrificial layers since they are used only as forms during the fabrication process and are removed from the device prior to device operation.

[0041] A thin layer of metal is sputtered onto the spacer layer and into the holes. An oxide is then deposited over the thin metal layer and patterned to form an etch mask over the regions that later will form hinges 120. A thicker layer of metal, typically an aluminum alloy, is sputtered over the thin layer and oxide etch masks. Another layer of oxide is deposited and patterned to define the hinge yoke 114, hinge cap 122, and the upper address electrodes 124. After this second oxide layer is patterned, the two metals layers are etched simultaneously and the oxide etch stops removed to leave thick rigid hinge yokes 114, hinge caps 122, and upper address electrodes 124, and thin flexible torsion beams 120.

[0042] A thick spacer layer is then deposited over the thick metal layer and patterned to define holes in which mirror support spacervias 126 will be formed. The thick spacer layer is typically a 2  $\mu$ m thick layer of positive photoresist. A layer of mirror metal, typically an aluminum alloy, is sputtered on the surface of the thick spacer layer and into the holes in the thick spacer layer. This metal layer is then patterned to form the mirrors 102 and both spacer layers are removed using a plasma etch.

[0043] Once the two spacer layers have been removed, the mirror is free to rotate about the axis formed by the torsion hinge. Electrostatic attraction between an address electrode 110 and a deflectable rigid member, which in effect form the two plates of an air gap capacitor, is used to rotate the mirror structure. Depending on the design of the micromirror device, the deflectable rigid member is the torsion beam yoke 114, the beam or mirror 102, a beam attached directly to the torsion hinges, or a combination thereof. The upper address electrodes 124 also electrostatically attract the deflectable rigid member.

[0044] The force created by the voltage potential is a function of the reciprocal of the distance between the two plates. As the rigid member rotates due to the electrostatic torque, the torsion beam hinges resist deformation with a restoring torque which is an approximately linear function of the angular deflection of the torsion beams. The structure rotates until the restoring torsion beam torque equals the electrostatic torque or until the rotation is mechanically blocked by contact between the rotating structure and a fixed component. As discussed below, most micromirror devices are operated in a digital mode wherein sufficiently large bias voltages are used to ensure full deflection of the micromirror superstructure.

[0045] Micromirror devices are generally operated in one of two modes of operation. The first mode of operation is an analog mode, sometimes called beam steering, wherein the address electrode is charged to a voltage corresponding to the desired deflection of the mirror. Light striking the micromirror device is reflected by the mirror at an angle determined by the deflection of the mirror. Depending on the voltage applied to the address electrode, the cone of light reflected by an individual mirror is directed to fall outside the aperture of a projection lens, partially within the aperture, or completely within the aperture of the lens. The reflected light is focused by the lens onto an image plane, with each individual mirror corresponding to a fixed location on the image plane. As the cone of reflected light is moved from completely within the aperture to completely outside the aperture, the image location corresponding to the mirror dims, creating continuous brightness levels.

[0046] The second mode of operation is a digital mode. When operated digitally, each micromirror is fully deflected in either of

the two directions about the torsion beam axis. Digital operation uses a relatively large voltage to ensure the mirror is fully deflected. Since it is advantageous to drive the address electrode using standard logic voltage levels, a bias voltage, typically a negative voltage, is applied to the mirror metal layer to increase the voltage difference between the address electrodes and the mirrors. Use of a sufficiently large mirror bias voltage (i.e. a voltage above what is termed the collapse voltage of the device) ensures the mirror will deflect to the closest landing electrodes even in the absence of an address voltage. Therefore, by using a large mirror bias voltage, the address voltages need only be large enough to deflect the mirror slightly.

[0047] To create an image using the micromirror device, the light source is positioned at an angle equal to twice the angle of rotation so that mirrors rotated toward the light source reflect light in a direction normal to the surface of the micromirror device and into the aperture of a projection lens (i.e. creating a bright pixel on the image plane). Mirrors rotated away from the light source reflect light away from the projection lens (i.e. leaving the corresponding pixel dark). Intermediate brightness levels are created by pulse width modulation techniques in which the mirror is rapidly and repetitively rotated "ON" and "OFF". The duty cycle of the mirror determines the quantity of light reaching the image plane. The human eye integrates the light pulses and the brain perceives a flicker-free intermediate brightness level.

[0048] As described above, prior art pulse width modulation schemes divide each single-color frame period into several bit periods—one bit period for each data bit to be displayed. The mirrors are turned on or off each bit period depending on the image data bit being displayed. A lot of hardware is required to format the data from the raster-scan format provided by most video sources to the bit plane format required for binary pulse width modulation using a micromirror device.

[0049] Figure 3 is a plan view of a digital micromirror device 300 according to one embodiment of the present invention. Although an analog voltage is used by the device of Figure 3, the term digital micromirror device is retained because the mirror itself is operated digitally—that is, the mirror is fully deflected in either the "ON" or "OFF" direction at all times. The DMD 300 shown in Figure 3 includes an optional digital to analog converter 302 to convert a digital image data stream into an analog signal. The preferred embodiment receives an analog input, and therefore does not require the digital to analog converter 302.

[0050] The output of the digital to analog converter 302 is received by an analog shift register 304. The analog shift register 304 typically is a charge coupled device (CCD) that periodically samples the analog input and transfers a voltage or charge representing the analog input from cell to cell each period. For example, if DMD has a mirror array 308 that is 1280 mirrors wide and 1024 mirrors high, the analog shift register 304 contains at least 1280 cells, each capable of holding an analog signal representative of one pixel of the analog input video data.

[0051] After an entire row of data has been shifted into the analog shift register 304, a row decoder 306, or row counter, selects a row of the mirror array 308 into which the analog data is transferred. The output of the row decoder 306 operates like a write enable signal in a memory array to transfer an entire row of data into the mirror array 308. Although not shown in Figure 3, some embodiments may use two or more analog shift registers 304 alternately in a ping-pong fashion depending on the speed at which the analog data can be transferred to the mirror array 308.

[0052] The micromirror device 300 of Figure 3 can easily accept interlaced or progressive scan video data. If interlaced data is input, the row decoder 306 can increment by two so that the interlaced format is retained. Alternatively, the row decoder 306 selects two modulator rows to receive each line of image data. Loading each line of interlaced image data into two modulator rows performs a crude line-doubling de-interlace conversion. Since the invention described herein is equally applicable to interlaced and progressive scan data formats, the terms field and frame will be used interchangeably throughout this disclosure with the understanding that the proper term and signal timing depends on the input video stream.

[0053] Figure 4a is a schematic view of one embodiment of a micromirror element, or cell, operable to perform analog pulse width modulation. In Figure 4a, pixel data from the analog shift register is written to a first capacitor 402 when the write signal from the row decoder turns transistor 404 "ON". After the first transistor 404 is turned "OFF", a second transistor 408 is turned "ON" by a field write signal to allow a transfer of charge from the first capacitor 402 to a second capacitor 406. The use of two transistors 404, 408 and two capacitors 402, 406 is optional, but allows one row of data to be displayed while a second row of data is being loaded. Without the second transistor and capacitor, it may be necessary to use a blanking period while a field of data is being loaded.

[0054] Also included in Figure 4a is a buffer amplifier 410. Buffer 410 is used to source or sink current as necessary to properly charge capacitor 406. Without buffer 410, the charge stored on capacitor 402 would be averaged with the charge stored on capacitor 406 when transistor 408 is turned "ON". Averaging the charge on the two capacitors would allow image data from one frame to corrupt image data in the next frame. A buffer on each output of the analog shift register performs the same function when charge is transferred to capacitor 402.

[0055] Other means of clearing the capacitors 402, 406 may be used. One alternate method uses a resistor 422 to bleed the charge to ground. If a large resistor 422 is slowly but constantly discharging the capacitor, the micromirror cell will exhibit a slow brightness decay similar to the persistence of a cathode ray tube. Alternatively, a small resistor is connected to the capacitor immediately before the data write operation to quickly discharge the capacitor. Of course, both a decay resistor and a rapid discharge resistor could be used.

[0056] Another change to the sample and hold circuit on the input of each comparator allows the modulator cell to perform recursive temporal filtering on the input image data. To implement this change, a resistor is added in series with the capacitor 406. The resistor limits the discharge of the capacitor 406 and allows data from one frame to influence the operation of the micromirror in the next frame. The larger the value of the resistor 424, the slower the charge on the capacitor 406 can be changed and the more influence previous video data will have on later video frames. Typically neither resistor 422 or resistor 424 are used.

[0057] Once a field or frame of data is stored in capacitor 406, the data controls the operation of the cell's micromirror 412. The data stored on the capacitor 406 is provided to one input of a complementary output comparator 414. A reference voltage from a reference voltage generator 416 is provided to the other input of the comparator 414. The complementary outputs of the comparator 414 are used to drive the address electrodes 418 of the micromirror. The complementary output comparator 414 may be any circuit that performs a comparison between the two input signals and drives the address electrodes 418. For example, a single-ended comparator may be used to drive analog switches, pass transistors, or other logic that in turn provides the voltages to the address electrodes 418.

[0058] Depending on the relative magnitudes of the voltages provided to the comparator inputs, one address electrode 418 is driven high while the other address electrode 418 is driven low. Reference voltage generator 416 is typically not part of each micromirror cell, but instead a single reference voltage generator that provides a reference voltage to many micromirror cells.

[0059] The electrostatic attraction between the micromirror 412 and the address electrodes 418 causes the micromirror 412 to rotate toward the side having the greatest electrostatic attraction. Since the electrostatic attraction is a function of both the voltage differential and the distance between the electrode 418 and the micromirror 412, even a small voltage differential between the micromirror 412 and the closest address electrode 418 may be sufficient to hold the micromirror against landing electrode 420. Therefore, the mirror bias is generally set equal to one output of the comparator so that there will be no voltage differential on one side of the micromirror 412.

[0060] Figure 4b is a schematic view of another embodiment of a micromirror element 401, or cell, operable to perform analog pulse width modulation. The embodiment of Figure 4b is similar to the embodiment shown in Figure 4a, but does not include two capacitors and write transistors, or the resistors used to filter and decay the charge applied to the capacitor.

[0061] Figure 5a shows one possible waveform for the output of the reference voltage generator of Figure 4a. The waveform 500 shown in Figure 5a is a modified sawtooth waveform. The curve of the rising portion of the waveform performs a degamma function by altering the duty cycle of the micromirror for a given image data value. Because the degamma waveform is a smooth analog waveform, the false contouring problems associated with dim data values do not occur.

[0062] The reference voltage waveform 500 typically is a periodic function with a frequency that is a multiple of the frame rate. The use of a reference voltage with a frequency higher than the frame rate allows helps to reduce flicker, and performs a function similar to the bit period splitting techniques of the prior art. Figure 5a shows a reference voltage that repeats four times every frame. A typical reference voltage repeats sixteen times each frame.

[0063] The magnitude of the reference voltage 500 and of the pixel image data signal is not critical. Voltages as low as 1 volt may be used and still provide the equivalent of 8 bits of image data with 4 mV steps. Higher voltages will require more power, while lower voltage require increase precision and improved isolation from surrounding circuitry in order to avoid degrading the image.

[0064] The reference voltage generator may use analog circuitry to generate the waveform, a digital to analog converter for converting waveform data stored in a memory into a reference voltage, or any other type of circuitry for generating the reference voltage waveform.

[0065] Figure 5b is a voltage waveform representing image data stored on capacitor 406 of Figure 4a. As shown in Figure 5b, the image data is constant for one frame,  $t_0$ - $t_1$  and  $t_1$ - $t_2$ . Figure 5c shows the position of the micromirror as determined by the waveforms of Figure 5a and 5b. As seen in Figure 5c, the duty cycle of the micromirror is increased during the four reference voltage pulses of the second frame compared to the four reference voltage pulses of the first frame.

[0066] Referring back to Figure 4a, the use of resistor 422 creates a decay or persistence effect because the mirror on periods during each frame are gradually shortened. Alternatively, the decay of the signal stored on capacitor 406 allows the use of a constant reference voltage. Using a constant reference voltage with a decaying charge on the capacitor 406 will only create one mirror on period each frame. To create additional mirror on periods within each frame period, transistor 408 is turned "ON" several times during the frame period to refresh the charge on capacitor 406.

[0067] Figure 6a shows a reference voltage waveform 600 according to a second embodiment of the disclosed invention. As shown in Figure 6a, the reference voltage repeatedly ramps both up and down. The advantage of the waveform of Figure 6a is that the energy from each on mirror is centered about the same point in time regardless of the image data. While the waveform shown in Figure 6a may or may not provide more pleasing video images, it improves the output of printer-type devices that can also utilize the disclosed analog pulse width modulation techniques.

[0068] A voltage waveform representing the data in a first micromirror cell is shown in Figure 6b. Figure 6c shows a voltage waveform representing data in a second micromirror cell. As seen in Figures 6d and 6e, while the two micromirror cells have different duty cycles the periods in which the mirrors are "on" are centered relative to each other. Since most DMD-based printers print a single line of data on a moving photoreceptor, centering the output from each micromirror element regardless of the data being projected improves alignment of the pixels in each image row.

[0069] The reference reset voltage also provides an ideal means of adjusting the brightness and contrast of the image. Since the reference voltage is applied to all of the image pixels, a change to the reference voltage waveform will alter the duty cycle of all of the micromirror elements. Using the polarities shown in Figure 6, an upward shift in the reference voltage will reduce the duty cycle of the micromirror and dim the projected image. Likewise, a downward shift will increase the brightness of the projected image. Similarly, only shifting one end of the reference voltage waveform, or shift in both ends in opposite directions,

will change the contrast of the projected image.

[0070] The above description of the analog pulse width modulation micromirror relies on the ability of the mirror to spontaneously reset when the output of the comparator changes states. It is well known in the art that micromirrors tend to experience stiction problems. Stiction is due to an attractive force generated between the micromirror and a landing electrode when the micromirror is in contact with the landing electrode. Stiction can overcome both the restorative torque of the torsion hinge and the electrostatic forces and prevent the micromirror from changing states. Passivation coatings are used to reduce this attraction. Even with the use of passivation coatings, however, it may be necessary to use some sort of a reset voltage to spring the micromirror away from the landing electrode.

[0071] Reset schemes generally utilize one or more mirror bias pulses to store energy in the hinges of the micromirror, and changes to both the address electrode voltage and the mirror bias voltage. Changing the bias voltages applied to the micromirror and the address electrodes, generally by temporarily increasing the address voltages, is intended to increase the attraction between the address electrodes and the micromirror.

[0072] Figures 7 and 8 both depict schematic views of different embodiments showing how to apply an optional reset voltage to the mirror bias signal during a reset period. In Figure 7, an edge detector 700 outputs a signal whenever the comparator changes states—that is, whenever the micromirror should be reset. The output of the edge detector is used by an analog switch to enable a reset voltage waveform to be applied to the micromirror superstructure. The reset voltage waveform is provided to the entire micromirror array, but is only provided to the micromirror when the comparator changes states. The reset voltage waveform provides a large number of reset opportunities each frame, for example 256 reset pulses each frame. Although the reset circuitry shown in Figure 7 eliminates the effects of sticking, it reintroduces many of the quantization artifacts, such as false contouring, caused by the discrete reset events.

[0073] A better means of avoiding sticking mirrors that does not introduce the quantization artifacts is shown in Figure 8. The circuit of Figure 8 is similar to the circuit of Figure 9, except that the edge detector 700 triggers a reset generator 800 that provides a unique reset waveform for each element in the micromirror array. While the circuit shown in Figure 8 avoids the quantization problems introduced in Figure 7, the circuitry required to generate a unique reset waveform typically will not fit under each micromirror cell.

[0074] Figure 9 is a schematic view of an image projection system 900 using an analog pulse width modulated micromirror 902. In Figure 9, light from light source 904 is focused on the improved micromirror 902 by lens 906. Although shown as a single lens, lens 906 is typically a group of lenses and mirrors which together focus and direct light from the light source 904 onto the surface of the micromirror device 902. Image data and reference voltage signals from controller 914 cause the mirrors of the micromirror device to rotate on and off according to the value of the pixel's image data signal. Mirrors on the micromirror device that are rotated to an off position reflect light to a light trap 908, or simply away from the aperture of lens 910, while mirrors rotated to an on position reflect light to projection lens 910. Projection lens 910 is shown as a single lens for simplicity. Projection lens 910 focuses the light modulated by the micromirror device 902 onto an image plane or screen 912.

[0075] The display system shown in Figure 9 has the advantage of not requiring any frame memory, when three parallel micromirror devices are used, and reducing the amount of data processing required. Low-cost systems, however, prefer to use the time-sequential methods described above to create full color images using only one or two spatial light modulators. These one or two-chip display systems require a buffer memory to store image data for one or more inactive primary colors while the one or two active primary colors are being displayed.

[0076] Thus, although there has been disclosed to this point a particular embodiment for a method and system for using analog pulse width modulation with a digital micromirror, it is not intended that such specific references be considered as limitations upon the scope of this invention. Furthermore, having described the invention in connection with certain specific embodiments thereof, it is to be understood that further modifications may now suggest themselves to those skilled in the art.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

## Claims

1. A method of operating an element of a spatial light modulator comprising:

providing a pixel data signal to said element of said spatial light modulator;  
providing a reference signal to said element of said spatial light modulator;  
comparing said pixel data signal and said reference signal as at least one of said pixel data signal and said reference signal change; and  
operating said element of said spatial light modulator according to the results of said comparing step.

2. The method of Claim 1, further comprising the step of:  
decaying said pixel data signal during a frame time.

3. The method of Claim 1 or Claim 2, wherein said step of providing a reference signal comprises providing a changing reference signal.



4. The method of Claim 3, wherein said step of providing a reference signal comprises providing a gradually increasing reference signal.
5. The method of Claim 3, wherein said step of providing a reference signal comprises providing a gradually decreasing reference signal.
6. The method of Claim 3, wherein said step of providing a reference signal comprises providing a gradually increasing then gradually decreasing reference signal.
7. The method of any preceding Claim, further comprising the step of:  
selecting a global reset waveform upon a change in an output of said comparing step.
8. The method of any preceding Claim, further comprising the step of:  
generating a reset waveform upon a change in an output of said comparing step.
9. A micromirror device comprising:  
  
at least two address electrodes;  
a deflectable mirror element suspended above said at least two address electrodes;  
a capacitor for storing charge representing an image data signal; and  
a comparator receiving said image data signal and said reference voltage, said comparator arranged for comparing a reference voltage input with said image data signal, and for providing address voltages to said at least two address electrodes to cause a deflection of said deflectable mirror element.
10. The micromirror device of Claim 9, wherein said micromirror cell further comprises an edge detector for detecting a change in the output of said comparator.
11. The micromirror device of Claim 10, wherein said micromirror cell further comprises a switch for enabling a global reset signal when said edge detector detects a change in the output of said comparator.
12. The micromirror device of Claim 11, said micromirror cell further comprising a reset generator for outputting a reset signal when said edge detector detects a change in the output of said comparator.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-193899

(P2000-193899A)

(43) 公開日 平成12年7月14日 (2000.7.14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G 0 2 B 26/08		G 0 2 B 26/08	E
H 0 4 N 5/74		H 0 4 N 5/74	B

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

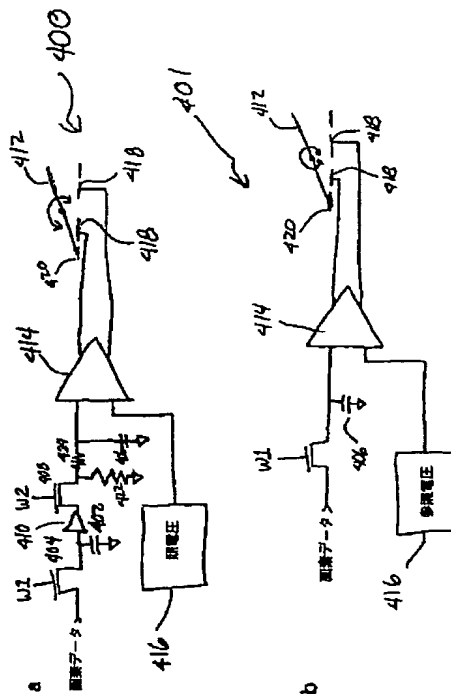
(21) 出願番号	特願平11-368111	(71) 出願人	590000879 テキサス インストルメンツ インコーポ レイテッド アメリカ合衆国テキサス州ダラス, ノース セントラルエクスプレスウェイ 13500
(22) 出願日	平成11年12月24日 (1999. 12. 24)	(72) 発明者	スチーブン ダブリュ. マーシャル アメリカ合衆国 テキサス, リチャードソ ン, チェインヌ ドライブ 1408
(31) 優先権主張番号	1 1 4 2 7 7	(74) 代理人	100066692 弁理士 浅村 皓 (外 3 名)
(32) 優先日	平成10年12月30日 (1998. 12. 30)		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		

(54) 【発明の名称】 画像データのアナログ・パルス幅変調

(57) 【要約】

【課題】 消費電力の少ないDMD表示装置。

【解決手段】 アナログ・パルス幅変調が可能なマイクロミラー及びその方法。各マイクロミラー素子のキャパシタ (406) が、画像データの1つの画素を表わす電荷を蓄積する。コンパレータ (414) は、キャパシタ (406) に蓄積された画像データ信号を参照信号ジェネレータ (416) からの参照信号と比較する。この比較の結果に従って、マイクロミラーのアドレス電極 (418) は、マイクロミラー (412) を偏向させるようにバイアスされる。キャパシタ (406) に蓄積された画像データ電荷、又は参照電圧が変化すると、コンパレータ (414) の出力は、マイクロミラー (412) の位置を変えるように変化する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 空間光変調器の素子を動作させる方法であって、前記方法は、

前記空間光変調器の前記素子に画素データ信号を提供し、

前記空間光変調器の前記素子に参照信号を提供し、  
前記画素データ信号と前記参照信号を、前記画素データ信号と前記参照信号の少なくとも1つが変化するときと比較し、

前記比較工程の結果に従って、前記空間光変調器の前記素子を動作させる工程を含む方法。

【請求項2】 マイクロミラー・デバイスであって、  
少なくとも2つのアドレス電極と、  
前記少なくとも2つのアドレス電極の上に懸架された偏向可能ミラー素子と、  
画像データ信号を表わす電荷を蓄積するキャパシタと、  
参照電圧入力と、  
前記画像データ信号と前記参照電圧を受取るコンパレータであって、前記参照電圧入力を前記画像データ信号と比較し、前記少なくとも2つのアドレス電極にアドレス電圧を提供して前記偏向可能ミラー素子を偏向させる前記コンパレータを含むマイクロミラー・デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は表示装置、更に詳細には、マイクロミラーに基づく表示装置に関し、更に特定して言えば、アナログ・パルス幅変調を行なうバイステープル・マイクロミラーに基づく表示装置に関連する。

## 【0002】

【従来の技術及びその課題】マイクロメカニカル・デバイスは、集積回路を製造するために開発されてきた光学リソグラフィ、ドーピング、金属スパッタリング、酸化物デポジション、及びプラズマ・エッチングなどの技術を用いて、典型的には半導体上に製造される小さな構造体である。

【0003】デジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)は、変形可能マイクロミラー・デバイスと呼ばれることもあり、マイクロメカニカル・デバイスの一種である。別の種類のマイクロメカニカル・デバイスには、加速度計、圧力センサ及び流量センサ、ギア及びモータが含まれる。圧力センサ及び流量センサ、及びDMDなどの幾つかのマイクロメカニカル・デバイスは商業的に成功を取めているが、その他の種類はまだ商業的には実現可能ではない。

【0004】デジタル・マイクロミラー・デバイスは、主に光学表示装置に用いられる。表示装置において、DMDは、デジタル画像データを用い、光のビームの一部を選択的に表示スクリーンに反射することによって、光のビームを変調する光変調器である。アナログ動作モ-

ド、つまり、ミラーの偏向が入力データ又はバイアス電圧の関数である動作モードも可能であるが、DMDは、ミラーに供給される画像データにかかわらず絶えずミラーが一杯に偏向するデジタル・バイステープル・モードで動作することが典型的である。

【0005】マイクロミラーは過去10年から15年で急速に発展してきた。初期のデバイスは、下にあるアドレス電極に静電力で引きつけられたとき、アドレス電極に向かって窪む変形可能な反射膜を用いた。シュリーレン光学系がその膜を照射し、膜の窪んだ部分によって散乱される光から画像をつくる。シュリーレン方式により膜デバイスが画像を形成することが可能になったが、形成された画像はかなり暗く、低いコントラスト比を有するため、大抵の画像表示の用途には適さない。

【0006】その後のマイクロミラー・デバイスは、改良されたコントラスト比を有する画像をつくるため、シリコン又はアルミニウムのフラップ又は飛び込み台型のカンチレバー・ビームを暗視野光学系と共に用いる。フラップ及びカンチレバー・ビーム・デバイスは典型的に、デバイスの上部反射層を形成するのに単一金属層を用いる。しかし、この単一金属層は大きな領域にわたって変形する傾向を持ち、これが、変形した部分に当たる光を散乱させる。振れビーム・デバイスは、薄い金属層を用いて、ヒンジと呼ばれる振れビームを形成し、一層厚い金属層を用いて堅い部材又はビームを形成し、これは典型的には鏡状の表面を有しており、変形をDMD表面の比較的小さな部分に集中させる。この堅いミラーは、ヒンジが変形しても平坦のままであり、デバイスによって散乱される光の量を最小化し、デバイスのコントラスト比を改善させる。

【0007】最近のマイクロミラー構造は、隠れヒンジ設計と呼ばれ、振れビームの上の柱部(pedestal)上にミラーをつくることによって画像のコントラスト比を更に改善させる。高架されたミラーは、振れビーム、振れビーム支持部、及び振れビームとミラー支持部を接続する堅いヨークを覆い、このデバイスによって生成される画像のコントラスト比を更に改善させる。

【0008】マイクロミラーに基づく投射ディスプレイはすべて、画像面の各画素に達する光の量を制御するためにパルス幅変調を用いる。典型的なパルス幅変調方式は、フレーム期間をバイナリ・ビット期間に分ける。入力データ・ワードの各画像データ・ビットは、1つのビット期間の間ミラーの動作を制御する。このため、ビットがアクティブである場合、ビット期間の間ミラーはオンになり、ビット期間の間光源からの光は画像面に向けられる。画像データ・ビットがアクティブでない場合、ビット期間の間ミラーはオフになり、ビット期間の間光源からの光は画像面から離れて向けられる。人間の目、又は他のフォトリセプタは、各画素に向けられたエネルギーを集成して中間強度レベルの知覚を生成する。典型

的なバイナリ・パルス幅変調方式は、大きなビット期間を2つ又はそれ以上のビット・スプリットに分け、これらはフレーム期間にわたって分布される。大きなデータ・ビットの分担 (contribution) をフレーム期間にわたって分散することによって、バイナリ・パルス幅変調方式によってつくられるアーティファクトの幾らかが排除される。

【0009】上述していないが、フルカラー画像をつくるには、単色画像を同時に生成する各々3つのDMD空間光変調器も必要となる。3原色の単色画像は、1つのフルカラー画像をつくるよう重畳される。代替例として、1つのDMDが、カラーホイール又は他のシーケンシャル・フィルタ・メカニズムと組合わせて用いられる。カラーホイールは、白色光ビームを3原色の単色光のビームに分け、これらは逐次変調されて単色のサブ・イメージをつくる。3原色の単色画像は、ビューアによって集成され、1つのフルカラー画像の知覚が生成される。

【0010】バイナリ・パルス幅変調は、中間強度レベルをつくるのに都合のよい手段を提供し、表示される画像を改善するよう容易に処理されるバイナリ・データを用いるが、バイナリ・パルス幅変調方式はかなり大量のメモリと処理用ハードウェアを必要とする。このため、DMDに基づく表示装置は実質的に完全な画像をつくることができるが、このような画像品質のコストのため、DMDに基づく投射装置は多くの消費者の手に届かないものになっている。一層小さな消費電力を有する表示装置で、高品質の画像をつくるための方法及び装置が必要とされている。

【0011】

【課題を達成するための手段及び作用】本発明の目的及び利点は明白であり、ここに部分的に示され、空間光変調器のアナログ・パルス幅変調のための方法及び装置を提供する本発明によって達成され得る。開示された発明の一実施例は、空間光変調器の素子を動作させる方法を提供する。この方法は、画素データ信号及び参照信号を素子に供給し、画素データ信号と参照信号をその信号の少なくとも1つが変化するとき比較し、その比較の結果に従って素子を動作させる工程を含む。参照電圧は典型的に、逆ガンマ演算 (degamma operation) も行なうランプ電圧である。

【0012】開示された発明の別の実施例に従って、マイクロミラー・デバイスが提供される。このマイクロミラー・デバイスは、少なくとも2つのアドレス電極、アドレス電極の上に懸架される偏向可能ミラー素子、画像データ信号を表わす電荷を蓄積するキャパシタ、参照電圧入力、及び画像データ信号と参照電圧を受け取るコンパレータを含む。コンパレータは、参照電圧入力と画像データ信号を比較して、アドレス電極にアドレス電圧を提供し、偏向可能ミラー素子を偏向させる。

【0013】開示された発明の更に別の実施例は、表示装置内のアナログ・パルス幅変調マイクロミラー・セルを提供する。この表示装置は、光のパスに沿って光のビームを供給する光源、光のパス上のマイクロミラー・セルのアレイ、投射パスにそって入射光を選択的に反射させることが可能な各マイクロミラー・セル、マイクロミラー・アレイに画像データ信号を提供するコントローラ、及び投射パス上の投射光学系を含む。投射光学系は、反射された入射光を画像面に選択的に集束する。表示装置の各マイクロミラー・セルは、少なくとも2つのアドレス電極、アドレス電極の上に懸架される偏向可能ミラー素子、画像データ信号を表わす電荷を蓄積するキャパシタ、参照電圧入力、及び画像データ信号と参照電圧を受け取るコンパレータを含み、このコンパレータは、参照電圧入力と画像データ信号を比較して、2つのアドレス電極にアドレス電圧を提供し、偏向可能ミラー素子を偏向させる。

【0014】開示されたアナログ・パルス幅変調方式及びマイクロミラーは、マイクロミラー・デバイスを用いてパルス幅変調されたビデオ画像を生成するために従来必要とされていたハードウェアを著しく減少させる。回路及びフレーム・メモリの減少により、マイクロミラーに基づく表示装置のコストは著しく低減する。更に、バイナリ時分割変調方式によって生じるアーティファクトの多くが排除される。

【0015】

【実施例】本発明及びその利点を更によく理解するために、添付の図面に関連させて以下の説明を参照する。

【0016】空間光変調器の各素子のアナログ・パルス幅変調が可能となるよう、新しい変調技術及びマイクロミラーが開発されている。アナログ画像データを受取ることができることにより、デジタル・パルス幅変調された画像を生成するために典型的に必要とされていた画像処理用ハードウェアが排除されるか又は著しく減少される。このため、ここに開示された方法及び装置は、低コストの空間光変調器に基づく装置を実現する。デジタル・マイクロミラー・デバイスは、アナログ方式に取り入れることが容易でないため、開示された方法及び装置は、低コストのマイクロミラーに基づく表示装置を提供するために特に有効である。

【0017】以下の記述は、開示された本発明の動作をデジタル・マイクロミラー・デバイスの点から特に説明しているが、このような説明は例示を目的としており、制限することを目的とするものではないことを理解されたい。説明された発明の側面は、液晶デバイスなど他の空間光変調器にも同様に適用し得る。

【0018】典型的な隠れヒンジDMD 100は実質的に、DMDセル又は素子の直交アレイである。このアレイは、一千個より多くのDMDセルの行及び列を含むこともある。図1は、DMDアレイの小さな一部分を、D

MDアレイの下にある機械的な構造を示すため、幾つかのミラー102を取除いて示している。図2は、1つのDMD素子の拡大図であり、DMD構造の間の関係を更に詳細に示す。

【0019】DMDは、典型的にシリコンである半導体基板104上に製造される。典型的には、標準の集積回路プロセス・フローを用いて、半導体基板104の表面に又は表面上に電気制御回路が製造される。この回路は、画像データを受け取り、その画像データに従ってミラー制御信号を生成するために必要な構造体を典型的に含む。ミラー上部構造にバイアス信号及びリセット信号を駆動する電圧駆動回路もDMD基板の上に製造することもできるが、DMDの外部であってもよい。この開示の目的では、アドレス指定回路は、DMDミラーの回転の方向を制御するために用いられ、直接的な電圧接続を含む任意の回路を含むと考えられる。アドレス指定回路は以下で更に詳細に説明する。

【0020】シリコン基板104及び任意に必要とされる金属相互接続層は、絶縁層106によってDMD上部構造から絶縁され、この絶縁層は典型的にはデポジットされる二酸化シリコン層であり、その上にDMD上部構造が形成される。孔又はバイアが酸化物層に開けられ、DMD上部構造と、基板104に形成された電子回路との接続が可能となる。

【0021】上部構造の第1の層は金属化層であり、典型的に第3の金属化層であるため、M3と呼ばれることもある。最初の2つの金属化層は、基板に製造された回路を相互接続することが典型的に必要である。第3の金属化層は絶縁層上にデポジットされ、アドレス電極110とミラー・バイアス接続部112を形成するようにパターニングされる。幾つかのマイクロミラー設計には、離れた個別の構造体であるが、ミラー・バイアス接続部112への電気的接続である着地電極が含まれる。着地電極は、ミラー102の回転を制限し、ミラー102に関して或る電圧電位を有するアドレス電極110に、回転したミラー102又はヒンジ・ヨーク114が接触しないようにする。ミラー102がアドレス電極110に接触すると、その結果生ずる短絡回路によって振れヒンジ116が融着するか又はミラー102がアドレス電極110に溶接され、いずれの場合もDMDがだめになる。

【0022】着地電極とミラー102には常に同じ電圧が印加されるため、ミラー・バイアス接続部及び着地電極は、可能な場合は、1つの構造に結合することが好ましい。着地電極は、着地サイトと呼ばれるミラー・バイアス／リセット接続部112上の領域を含むことによってミラー・バイアス接続部112と組み合わせられ、それがミラー102又は振れヒンジ・ヨーク114のいずれかに接触することによってミラー102の回転を機械的に制限する。これらの着地サイトは、ミラー102及び振

れヒンジ・ヨーク114が着地サイトに膠着する傾向を減らすように選択された材料で被覆されることが多い。

【0023】ミラー・バイアス／リセット電圧は、ミラー・バイアス／リセット金属化112及び隣接するミラー素子のミラー及び振れビームの両方を用いるパスの組合せを介して各ミラー102へ伝わる。図1に示した着地電極／ミラー・バイアス112の構造は、サブアレイ間でミラー・バイアス／リセット層を単純に隔離することによって、DMD素子が、電気的に隔離された行又は列に容易に分離されるので、分割リセットの用途に理想的に適している。図1のミラー・バイアス／リセット層は、隔離された素子の行に分割されて示されている。

【0024】典型的にはスペーサバイアと呼ばれる支持体の第1の層が、アドレス電極110とミラー・バイアス接続部112を形成する金属層の上に製造される。これらのスペーサバイアは、ヒンジ支持スペーサバイア116と上側アドレス電極スペーサバイア118の両方を含み、典型的には、アドレス電極110とミラー・バイアス接続部112の上に薄いスペーサ層を回転付着させることによって形成される。この薄いスペーサ層は典型的には、ポジのフォトリソの厚さ1  $\mu\text{m}$ の層である。フォトリソ層をデポジットした後、それを露光し、パターニングし、遠UVで硬化させて、孔を形成し、この孔の中にスペーサバイアを形成する。このスペーサ層と、製造工程の後の時点で用いられる一層厚いスペーサ層は、製造工程の間に型としてだけ使われ、デバイスの動作の前にデバイスから取除かれるため、犠牲層と呼ばれることが多い。

【0025】金属の薄層が、スペーサ層の上及び孔の中にスパッタリングされる。次に、酸化物が薄い金属層の上にデポジットされ、パターニングされ、後にヒンジ120を形成する領域の上にエッチ・マスクを形成する。典型的にはアルミニウム合金である金属の一層厚い層が、薄い層及び酸化物エッチ・マスクの上にスパッタリングされる。酸化物の別の層がデポジットされ、パターニングされて、ヒンジ・ヨーク114、ヒンジ・キャップ122、及び上側アドレス電極124を定める。この第2の酸化物層がパターニングされた後、2つの金属層が同時にエッチングされ、酸化物エッチ・ストップが取除かれ、厚く堅いヒンジ・ヨーク114、ヒンジ・キャップ122、及び上側アドレス電極124、及び薄い可撓性振れビーム120を残す。

【0026】次に、厚いスペーサ層が厚い金属層の上にデポジットされ、パターニングされて、その中にミラー支持スペーサバイア126が形成される孔を定める。この厚いスペーサ層は典型的には、ポジのフォトリソの厚さ2  $\mu\text{m}$ の層である。典型的にアルミニウム合金であるミラー金属の層が、厚いスペーサ層の表面上及び厚いスペーサ層の孔の中にスパッタリングされる。次に、この金属層がパターニングされて、ミラー102を

形成し、プラズマ・エッチングを用いて両方のスペーサ層が取除かれる。

【0027】一旦2つのスペーサ層が取除かれると、ミラーは、振れヒンジによって形成された軸の周りを自由に回転する。実際はエア・ギャップ・キャパシタの2つのプレート形成するアドレス電極110と偏向可能の堅い部材との間の静電引力が、ミラー構造を回転させるために用いられる。ミラー・デバイスの設計によって、偏向可能の堅い部材は、振れビーム・ヨーク114、ビーム又はミラー102、振れヒンジに直に取付けられるビーム、又はそれらの組合せである。上側アドレス電極124も偏向可能の堅い部材を静電的に引き付ける。

【0028】電圧電位によってつくられる力は、2つのプレート間の距離の逆比例の関数である。堅い部材は、静電トルクによって回転するため、振れビーム・ヒンジは、振れビームの角度偏位のほぼ線形の関数である復元トルクで変形に抵抗する。この構造体は、復元振れビーム・トルクが静電トルクに等しくなるまで、又は回転する構造体と固定された部品との間の接触によって機械的に回転が妨害されるまで回転する。以下に説明するように、殆どのマイクロミラー・デバイスは、マイクロミラー上部構造が一杯に偏向することを確実にするように十分に大きなバイアス電圧が用いられるデジタル・モードで動作する。

【0029】一般的にマイクロミラー・デバイスは、2つの動作モードの一方で動作する。第1の動作モードはアナログ・モードであり、これはビーム・ステアリングと呼ばれることもあり、アドレス電極がミラーの所望の偏向に対応する電圧まで充電される。マイクロミラー・デバイスに入射する光は、ミラーの偏向によって決定された角度で、ミラーによって反射される。アドレス電極に印加された電圧に応じて、個別のミラーによって反射された光のコーンが、投射レンズの開口の外側へ、一部分は開口の中へ、又は全部がレンズの開口の中に向けられる。反射された光は、レンズによって画像面に集束され、各々の個別のミラーは画像面の一定の位置に対応している。反射された光のコーンが完全に開口の中から完全に開口の外側へ移るため、ミラーに対応する画像の場所は暗くなり、連続的な輝度レベルをつくる。

【0030】第2の動作モードはデジタル・モードである。デジタルに動作するとき、各マイクロミラーは、振れビームの軸の周りを2つの方向のいずれかに一杯に偏向する。デジタル動作は、ミラーが一杯に偏向することを確実にするため比較的大きな電圧を用いる。アドレス電極を標準的な論理電圧レベルを用いて駆動することが有利であるため、バイアス電圧、典型的には負の電圧をミラー金属層に印加し、アドレス電極とミラーの間の電位差を大きくする。十分に大きなミラー・バイアス電圧、即ち、デバイスの崩壊電圧 (collapse voltage) と呼ばれる値より高い電圧を用いることにより、アドレス

電極が存在しない場合でも、ミラーが最も近い着地電極まで偏向することが確実になる。従って、大きなミラー・バイアス電圧を用いることにより、アドレス電圧はミラーをわずかに偏向させるのに十分な大きさであればよい。

【0031】マイクロミラー・デバイスを用いて画像を形成するため、光源に向かって回転したミラーが、マイクロミラー・デバイスの表面に垂直の方向に及び投射レンズの開口の中に光を反射させて、画像面上に明るい画素をつくるように、光源が回転角度の2倍に等しい角度に配置される。光源から離れて回転したミラーは、投射レンズから離れて光を反射させ、対応する画素を暗くする。中間輝度レベルは、ミラーを急速に及び反復してオン及びオフに回転させるパルス幅変調技術によってつくられる。ミラーのデューティ・サイクルが、画像面に届く光の量を決定する。人間の目は光のパルスを集成し、脳はフリッカのない中間輝度レベルを知覚する。

【0032】上述のように、先行技術のパルス幅変調方式は、1つのカラー・フレーム期間を、表示されるべき各データ・ビットに対し1ビット期間となるように幾つかのビット期間に分ける。表示される画像データ・ビットに従って、各ビット期間ミラーがオン又はオフにされる。殆どのビデオ・ソースによって提供されるラスター走査フォーマットから、マイクロミラー・デバイスを用いるバイナリ・パルス幅変調に必要とされるビット面フォーマットへデータをフォーマットするために、多くのハードウェアが必要となる。

【0033】図3は、本発明の一実施例に従ったデジタル・マイクロミラー・デバイス300の平面図である。図3のデバイスではアナログ電圧が用いられるが、ミラー自体がデジタル的に動作するため、つまり、ミラーが、常に「オン」又は「オフ」方向のいずれかに一杯に偏向するため、デジタル・マイクロミラー・デバイスという言葉を使っている。図3に示すDMD300は、デジタル画像ストリームをアナログ信号に変換するオプションのデジタル・アナログ・コンバータ302を含む。好ましい実施例ではアナログ入力を受取るため、デジタル・アナログ・コンバータ302は必要としない。

【0034】デジタル・アナログ・コンバータ302の出力は、アナログ・シフト・レジスタ304によって受信される。アナログ・シフト・レジスタ304は典型的に、アナログ入力を周期的にサンプリングし、アナログ入力を表わす電圧又は電荷をそれぞれの期間セルからセルへ転送する電荷結合デバイス (CCD) である。例えば、DMDが横1280個のミラー、縦1024個のミラーのミラー・アレイ308を有する場合、アナログ・シフト・レジスタ304は、アナログ入力映像データの1画素を表わすアナログ信号を各々が有し得る少なくとも1280個のセルを含む。

【0035】データの行全体がアナログ・シフト・レジス

タ304にシフトされた後、行デコード306、又は行カウンタは、ミラー・アレイ308の行を選択し、そこにアナログ・データが転送される。行デコード306の出力は、メモリ・アレイのライト・イネーブル信号のように動作し、ミラー・アレイ308にデータの行全体を転送する。図3には示していないが、幾つかの実施例では、アナログ・データがミラー・アレイ308に転送され得る速度によって、2つ又はそれ以上のアナログ・シフト・レジスタ304をピンポン式に交互に用いることもある。

【0036】図3のマイクロミラー・デバイス300は、インターレース又は順次走査映像データを容易に受けることができる。インターレースされたデータが入力された場合、行デコード306は、インターレースされたフォーマットが保持されるように2の倍数で増加し得る。代替例として、行デコード306は、画像データの各ラインを受取るために2つの変調行を選択する。インターレースされた画像データの各ラインを2つの変調行にロードすることにより、粗いライン・ダブリング逆インターレース変換が行われる。ここで説明した発明は、インターレースされたデータ・フォーマットとプログレシブ・スキャン・データ・フォーマットに同様に適用できるため、適当な用語及び信号タイミングは入力映像データに依るという理解のもとで、この開示では、フィールドとフレームという用語は互いに交換可能に使われる。

【0037】図4aは、アナログ・パルス変調を行なうことのできるマイクロミラー素子又はセルの一実施例の略図である。図4aにおいて、行デコードからの書込み信号がトランジスタ404をオンにすると、アナログ・シフト・レジスタからの画素データが第1のキャパシタ402に書き込まれる。第1のトランジスタ404がオフにされた後、フィールド書込み信号によって第2のトランジスタ408がオンにされ、第1のキャパシタ402から第2のキャパシタ406へ電荷の転送が可能となる。2つのトランジスタ404、408と、2つのキャパシタ402、406を用いることはオプションであるが、これにより、第2のデータ行がロードされている一方で、第1のデータ行が表示されるようにすることが可能である。第2のトランジスタ及びキャパシタがない場合、データのフィールドがロードされる間ブランク期間を用いることが必要なこともある。

【0038】図4aにはバッファ増幅器410も含まれる。バッファ410は、キャパシタ406を適切に充電するために必要とされるだけ電流をソース又はシンクさせるために用いられる。バッファ410がない場合、トランジスタ408がオンにされると、キャパシタ402に蓄積された電荷は、キャパシタ406に蓄積される電荷と分配される。2つのキャパシタに電荷を分配することにより、1つのフレームからの画像データが次のフレームの画像データを破壊させることがある。アナログ・

シフト・レジスタの各出力のバッファは、キャパシタ402に電荷が転送されるとき同じ機能を行なう。

【0039】キャパシタ402、406をクリアする他の手段も用いられる。1つの代替の方法は、レジスタ422を用いて電荷を接地まで落とす。大きなレジスタ422がゆっくりと、しかし、一定してキャパシタを放電する場合、マイクロミラー・セルは、陰極線管のパーシステンスに類似するゆっくりした輝度減衰 (brightness decay) を示す。代替例として、キャパシタを急速に放電するようデータ書込み動作の直前にキャパシタに小さなレジスタが接続される。無論、減衰レジスタ及び急速放電レジスタの両方を用いることもできる。

【0040】各コンパレータの入力に回路をサンプリングし保持するための別の変更により、変調器セルが、入力画像データの再帰形 (recursive) 一時的フィルタリングを行なうことができる。この変更を実行するため、キャパシタ406に直列にレジスタが付加される。このレジスタはキャパシタ406の放電を制限し、1つのフレームからのデータが次のフレームのマイクロミラーの動作に影響を及ぼすようになる。レジスタ424の値が一層大きくなると、変更され得るキャパシタ406の充電が一層遅くなり、前のビデオ・データが後のビデオ・フレームに与える影響が大きくなる。典型的には、レジスタ422又はレジスタ424のいずれも用いられない。

【0041】一旦データのフィールド又はフレームがキャパシタ406に蓄積されると、このデータが、そのセルのマイクロミラー412の動作を制御する。キャパシタ406に蓄積されたデータは、相補的出力コンパレータ414の1つの入力に供給される。参照電圧ジェネレータ416からの参照電圧が、コンパレータ414の別の入力に供給される。コンパレータ414の相補的出力は、マイクロミラーのアドレス電極418を駆動するために用いられる。相補的出力コンパレータ414は、2つの入力信号間の比較を行ない、アドレス電極418を駆動する任意の回路であってよい。アドレス電極418へ電圧を順に提供するアナログ・スイッチ、パス・トランジスタ、又は、他のロジックを駆動するため、例えば、シングルエンド・コンパレータを用いることができる。

【0042】コンパレータ入力に提供される電圧の相対的大きさに依って、一方のアドレス電極418が高に駆動され、他方のアドレス電極418は低に駆動される。参照電圧ジェネレータ416は、典型的には、それぞれのマイクロミラー・セルの一部ではなく、多数のマイクロミラー・セルに参照電圧を提供する1つの参照電圧ジェネレータである。

【0043】マイクロミラー412とアドレス電極418の間の静電引力は、最も大きい静電引力を有する側に向かってマイクロミラー412が回転するようにする。この静電引力は、電圧電位差と、電極418とマイクロミラー412の間の距離の両方の関数であるため、マイ

クロミラー412と最も近い電極418の間の小さな電位差でさえ、着地電極420に対してマイクロミラーを保持するのに充分であり得る。従って、ミラー・バイアスは一般的に、マイクロミラー412の片側に電位差が全くなくなるようコンパレータの1つの出力に等しく設定される。

【0044】図4bは、アナログ・パルス幅変調を実行することのできるマイクロミラー素子401又はセルの別の実施例の略図である。図4bの実施例は、図4aに示した実施例に類似するが、2つのキャパシタと、書き込みトランジスタ、又は、キャパシタに供給される電荷をフィルタリングして減少させるために用いるレジスタを含まない。

【0045】図5aは、図4aの参照電圧ジェネレータの出力に対する1つの有り得る波形を示す。図5aに示す波形500は、修正された鋸波形である。波形の立上り部の曲線は、所定の画像データ値に対するマイクロミラーのデューティ・サイクルを変えることによって逆ガンマ機能を実行する。逆ガンマ波形はなだらかなアナログ波形であるため、かすかなデータ値に関連する偽の輪郭の問題は生じない。

【0046】参照電圧波形500は典型的には、フレーム速度の倍数である周波数を有する周期的関数である。フレーム速度より速い周波数を有する参照電圧を用いることにより、フリッカを減らすことができ、先行技術のビット期間分割技術に類似する機能を行なうことができる。図5aは全てのフレームで4回反復する参照電圧を示す。典型的な参照電圧は、各フレームで16回反復する。

【0047】参照電圧500及び画素画像データ信号の大きさは重要ではない。1ボルト程度の低い電圧が用いられるが、4mVステップで8ビットに相当する画像データが提供される。より高い電圧は一層多くの電力を必要とし、一方、より低い電圧は、画像が劣化することを避けるために、精度の向上と、周囲の回路からの隔離が改良されることを必要とする。

【0048】参照電圧ジェネレータは、波形を生成するためのアナログ回路、メモリに蓄積された波形データを参照電圧に変換するためのデジタル・アナログ・コンバータ、又は参照電圧波形を生成するための任意の他の種類の回路を用いることができる。

【0049】図5bは、図4aのキャパシタ406に蓄積された画像データを表わす電圧波形である。図5bに示すように、画像データは、1フレーム、 $t_0-t_1$ 及び $t_1-t_2$ 間で一定である。図5cは、図5a及び図5bの波形によって決められたマイクロミラーの位置を示す。図5cで判るように、マイクロミラーのデューティ・サイクルは、第1のフレームの4つの参照電圧パルスに比べ、第2のフレームの4つの参照電圧パルスの間のほうが増加している。

【0050】再び図4aを参照し、各フレーム間のミラーのオン期間が次第に短縮されるため、レジスタ422を用いることにより、減衰又はパーシステンス効果がつくられる。代替例として、キャパシタ406に蓄積された信号の減衰により、一定の参照電圧を用いることができるようになる。キャパシタ406の減衰電荷で一定の参照電圧を用いることにより、各フレームで1つのミラー・オン期間のみ生成される。各フレーム期間の期間に追加のミラー・オン期間をつくるため、トランジスタ408はフレーム期間の間数回オンにされ、キャパシタ406の電荷をリフレッシュする。

【0051】図6aは、開示された発明の第2の実施例に従った参照電圧波形600を示す。図6aに示すように、参照電圧は上及び下に反復してランプされる。図6aの波形の利点は、それぞれのオン状態のミラーからのエネルギーは、画像データに関わらず時間的に同じ点に集中する。図6aに示した波形は、一層満足のビデオ画像を提供するかもしれないししないかもしれないが、これにより、開示されたアナログ・パルス幅変調を用いることもできるプリンタ・タイプのデバイスの出力が改善される。

【0052】第1のマイクロミラー・セルのデータを表わす電圧波形を図6bに示す。図6cは、第2のマイクロミラー・セルのデータを表わす電圧波形を示す。図6d及び図6eで判るように、2つのマイクロミラー・セルは異なるデューティ・サイクルを有するが、ミラーが「オン」である期間は互いに関して中央にある。DMDに基づくプリンタの殆どは、移動するフォトリセプタにデータの1ラインをプリントするから、投射されるデータに関わらず、それぞれのマイクロミラー素子からの出力のセンタリングは、各画像行の画素の配列を改善する。

【0053】参照リセット電圧は、画像の輝度及びコントラストを調整する理想的な手段も提供する。参照電圧は画像画素の全てに供給されるため、参照電圧波形が変わるとマイクロミラー素子の全てのデューティ・サイクルが変わる。図6に示す極性を用いることにより、参照電圧の上向きのシフトは、マイクロミラーのデューティ・サイクルを低減させ、投射される画像を暗くする。同様に、下向きのシフトは投射される画像の輝度を増加させる。同様に、参照電圧波形の一端をシフトする、又は両端を反対方向にシフトするだけで、投射される画像のコントラストは変わる。

【0054】アナログ・パルス幅変調マイクロミラーについての上述の説明は、コンパレータの出力が状態を変えるとき自動的にリセットするミラーの能力に依存する。マイクロミラーが膠着の問題を有しがちであることは当技術では既知である。膠着は、マイクロミラーが着地電極に接触するときマイクロミラーと着地電極との間に生成される引力による。膠着は、振れヒンジの復元ト



ルクと静電力の両方に打ち勝ち、マイクロミラーが状態を変えないようにする。不活性化被覆は、この引力を減らすために用いられる。しかし、不活性化被覆を用いる場合でも、マイクロミラーが着地電極からはじけ去るよう或る種のリセット電圧を用いることが必要である。

【0055】リセット方式は一般的に、1つ又はそれ以上のミラー・バイアス・パルスを用い、マイクロミラーのヒンジにエネルギー、及びアドレス電極電圧及びミラー・バイアス電圧の両方への変更を蓄積する。一般的にアドレス電極を一時的に増加させることによって、マイクロミラー及びアドレス電極に供給されるバイアス電圧を変えることは、アドレス電極とマイクロミラーの間の引力を増加させることを意図している。

【0056】図7及び図8はいずれも、オプションのリセット電圧を、リセット期間の間ミラー・バイアス信号にどのように供給するかを示す異なる実施例の略図を示す。図7において、エッジ検出器700は、コンパレータが状態を変えるとき必ず、つまり、マイクロミラーがリセットしなければならないとき必ず信号を出力する。エッジ検出器の出力はアナログ・スイッチによって用いられ、マイクロミラー上部構造に供給されるリセット電圧波形をイネーブルにする。リセット電圧波形は、マイクロミラー・アレイ全体に供給されるが、コンパレータが状態を変えるときのみマイクロミラーに供給される。リセット電圧波形は、各フレームに多くのリセットの機会、例えば各フレームに256リセット・パルスを提供する。図7に示すリセット回路は膠着の影響を減らす、別個のリセット事象によって生じる偽の輪郭などの多くの量子化アーティファクトを再び起こす。

【0057】量子化アーティファクトを起こさずにミラーが膠着するのを避ける一層よい手段を図8に示す。図8の回路は、エッジ検出器700が、マイクロミラー・アレイの各素子に対し特定のリセット波形を提供するリセット・ジェネレータ800をトリガすることを除けば、図9の回路と同様である。図8に示す回路は、図7で説明した量子化の問題を避けるが、特有のリセット波形を生成するために典型的に必要とされる回路は、それぞれのマイクロミラー・セルの下にフィットしない。

【0058】図9は、本発明に従ったアナログ・パルス幅変調マイクロミラー902を用いる画像投射装置900の略図である。図9において、光源904からの光は、改良されたマイクロミラー902にレンズ906によって集束される。1つのレンズとして示しているが、レンズ906は典型的に、光源904からの光をマイクロミラー・デバイス902の表面上に一緒に集束して向ける一群のレンズ及びミラーである。コントローラ914からの画像データ及び参照電圧信号は、画素の画像データ信号の値に従って、マイクロミラー・デバイスのミラーをオン及びオフに回転させる。オフ位置に回転したマイクロミラー・デバイスのミラーは、光トラップ90

8に、又は単にレンズ910の開口から離れるように光を反射させ、オン位置に回転したミラーは、投射レンズ910に光を反射させる。投射レンズ910は簡略化のため1つのレンズとして示している。投射レンズ910は、マイクロミラー・デバイス902によって変調された光を画像面又はスクリーン912に集束させる。

【0059】図9に示した表示装置は、3つのパラレル・マイクロミラー・デバイスが用いられるとき、いかなるフレーム・メモリも必要とせず、必要とされるデータ処理の量が低減するという利点を有する。しかし、低コストの装置では、1つ又は2つの空間光変調器のみを用いてフルカラー画像をつくるため、上述の時間的順次方法を用いることが望ましい。これらの1又は2チップ表示装置は、1つ又は2つのアクティブ原色が表示される間、1つ又はそれ以上のインアクティブ原色の画像を蓄積するためにバッファ・メモリを必要とする。

【0060】このように、デジタル・マイクロミラーでのアナログ・パルス幅変調を用いるための方法及び装置の特定の実施例についてこれまで開示してきたが、このような特定の参照は、以下の特許請求の範囲に示した範囲を除けば本発明の範囲を限定するものと解釈されることは意図していない。更に、本発明は、本発明の或る特定の実施例に関連して説明したが、当業者であれば更なる変更を想起し得ることを理解されたく、このような変更の全てが添付の特許請求の範囲に含まれることを意図している。

【0061】以上の説明に関して更に次の項を開示する。

(1) 空間光変調器の素子を動作させる方法であって、前記方法は、前記空間光変調器の前記素子に画素データ信号を提供し、前記空間光変調器の前記素子に参照信号を提供し、前記画素データ信号と前記参照信号を、前記画素データ信号と前記参照信号の少なくとも1つが変化するとき比較し、前記比較工程の結果に従って、前記空間光変調器の前記素子を動作させる工程を含む方法。

(2) 第1項に記載の方法であって、フレーム時間の間前記画素データ信号を減衰させる工程を更に含む方法。

(3) 第1項に記載の方法であって、参照信号を提供する前記工程は、変化する参照信号を提供することを更に含む方法。

(4) 第1項に記載の方法であって、参照信号を提供する前記工程は、次第に増加する参照信号を提供することを更に含む方法。

(5) 第1項に記載の方法であって、参照信号を提供する前記工程は、次第に減衰する参照信号を提供することを更に含む方法。

(6) 第1項に記載の方法であって、参照信号を提供する前記工程は、次第に増加し、その後次第に減衰する

参照信号を提供することを更に含む方法。

(7) 第1項に記載の方法であって、前記比較工程の出力の変化に従ってグローバル・リセット波形を選択する工程を更に含む方法。

(8) 第1項に記載の方法であって、前記比較工程の出力の変化に従ってリセット波形を生成する工程を更に含む方法。

【0062】(9) マイクロミラー・デバイスであって、少なくとも2つのアドレス電極と、前記少なくとも2つのアドレス電極の上に懸架された偏向可能ミラー素子と、画像データ信号を表わす電荷を蓄積するキャパシタと、参照電圧入力と、前記画像データ信号と前記参照電圧を受取るコンパレータであって、前記参照電圧入力を前記画像データ信号と比較し、前記少なくとも2つのアドレス電極にアドレス電圧を提供して前記偏向可能ミラー素子を偏向させる前記コンパレータを含むマイクロミラー・デバイス。

(10) 第9項に記載のマイクロミラー・デバイスであって、前記マイクロミラー・セルが、前記コンパレータの出力の変化を検出するエッジ検出器を更に含むマイクロミラー・デバイス。

(11) 第10項に記載のマイクロミラー・デバイスであって、前記エッジ検出器が前記コンパレータの出力

の変化を検出するとき、グローバル・リセット信号をイネーブルにするためのスイッチを前記マイクロミラー・セルが更に含むマイクロミラー・デバイス。

(12) 第11項に記載のマイクロミラー・デバイスであって、前記エッジ検出器が前記コンパレータの出力の変化を検出するとき、リセット信号を出力するためのリセット・ジェネレータを前記マイクロミラー・セルが更に含むマイクロミラー・デバイス。

【0063】(13) アナログ・パルス幅変調が可能マイクロミラー及びその方法。各マイクロミラー素子のキャパシタ(406)が、画像データの1つの画素を表わす電荷を蓄積する。コンパレータ(414)は、キャパシタ(406)に蓄積された画像データ信号を参照信号ジェネレータ(416)からの参照信号と比較する。この比較の結果に従って、マイクロミラーのアドレス電極(418)は、マイクロミラー(412)を偏向させるようにバイアスされる。キャパシタ(406)に蓄積された画像データ電荷、又は参照電圧が変化することによって、コンパレータ(414)の出力は、マイクロミラー(412)の位置を変えるように変化する。

関連出願

以下の特許及び／又は共に譲渡された特許出願は、参照のため本発明に組込まれている。

特許番号	出願日	特許登録日	発明の名称
5,061,049	1990年9月13日	1991年10月29日	空間光変調器及び方法
5,278,652	1993年3月23日	1994年1月11日	パルス幅変調表示装置に用いるためのDMDアーキテクチャ及びタイミング
5,583,688	1993年12月21日	1996年12月10日	マルチ・レベル・デジタル・マイクロミラー・デバイス

【図面の簡単な説明】

【図1】マイクロミラー・アレイの小さな領域の透視図。

【図2】図1のマイクロミラー・アレイから1つのマイクロミラー素子を拡大した透視図。

【図3】本発明の一実施例に従ったデジタル・マイクロミラー・デバイスの平面図。

【図4】aは、アナログ・パルス幅変調を行なうことができる図3のデジタル・マイクロミラー・デバイスの1つの素子の1つの実施例の略図。bは、アナログ・パルス幅変調を行なうことができる図3のデジタル・マイクロミラー・デバイスの1つの素子の別の実施例の略図。

【図5】aは、図4a及び4bの出力参照電圧ジェネレータを示すグラフ。bは、2つのフレームにわたる1つの画素の画素電圧データを示すグラフ。cは、図5bの画素データと図5aの参照電圧入力を有するマイクロミラー・セルのミラー位置を示すグラフ。

【図6】aは、図4a及び4bの出力参照電圧ジェネレータを示すグラフ。bは、第1の画素の画素電圧データを示すグラフ。cは、第2の画素の画素電圧データを示すグラフ。dは、図6bの画素データと図6aの参照電

圧入力を有するマイクロミラー・セルのミラー位置を示すグラフ。eは、図6cの画素データと図6aの参照電圧入力を有するマイクロミラー・セルのミラー位置を示すグラフ。

【図7】グローバル・リセット波形の選択を示すマイクロミラー・セルの一実施例の略図。

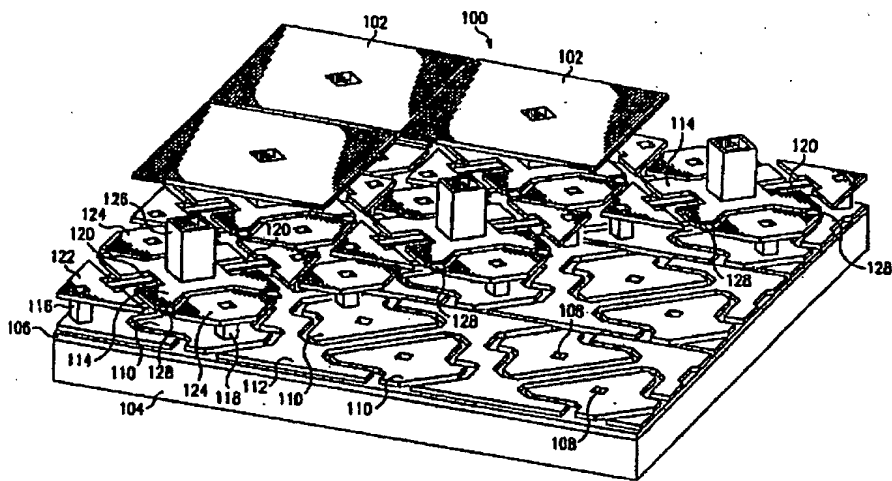
【図8】リセット波形のローカルな生成を示すマイクロミラー・セルの一実施例の略図。

【図9】本発明の一実施例に従ったアナログ・パルス幅変調を用いるマイクロミラーに基づく投射装置の略図。

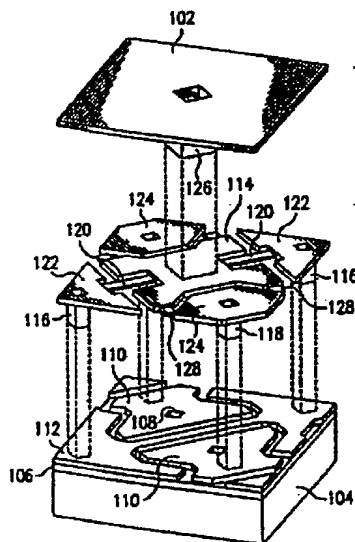
【符号の説明】

402, 406	キャパシタ
404, 408	トランジスタ
410	バッファ増幅器
412	マイクロミラー
414	コンパレータ
416	参照信号ジェネレータ
418	アドレス電極
420	着地電極
422, 424	レジスタ

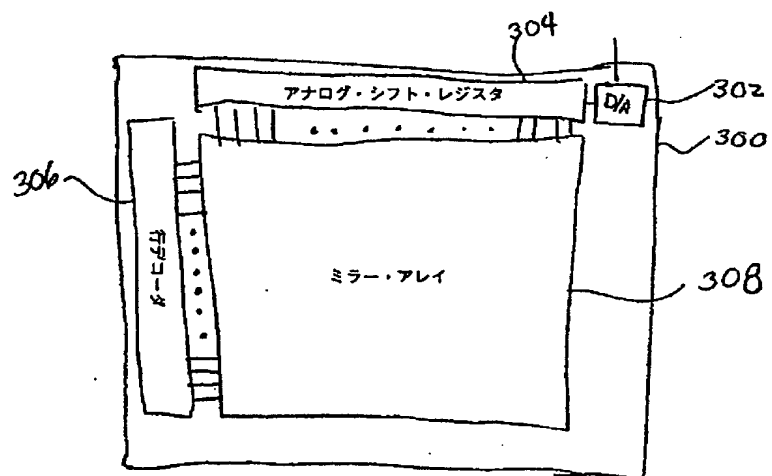
【図1】



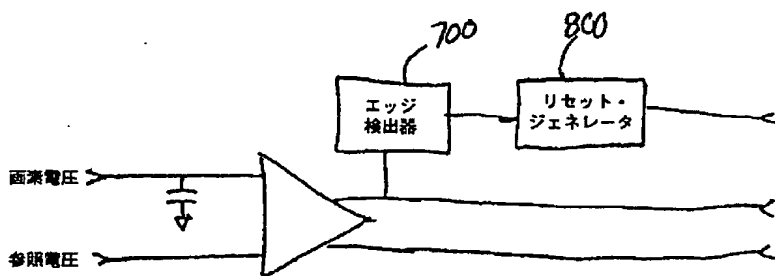
【図2】



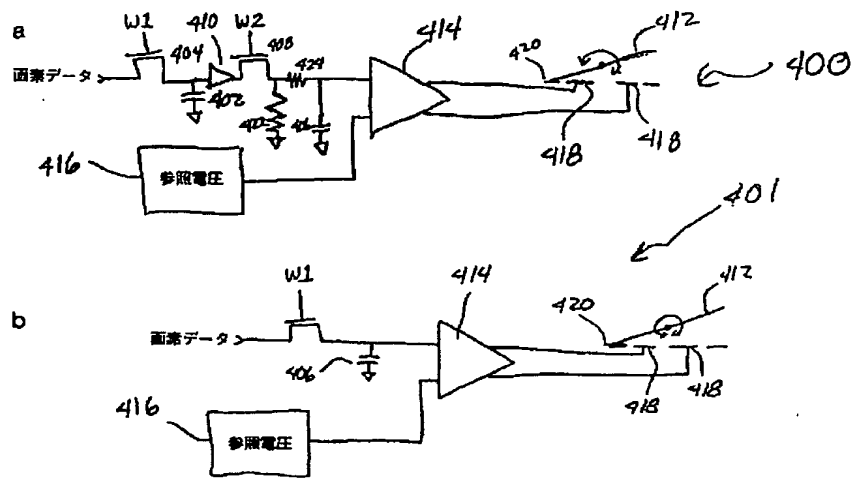
【図3】



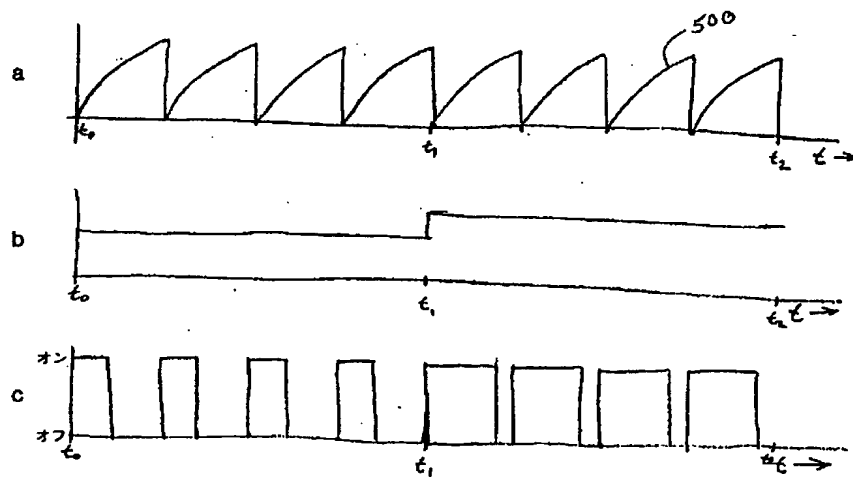
【図8】



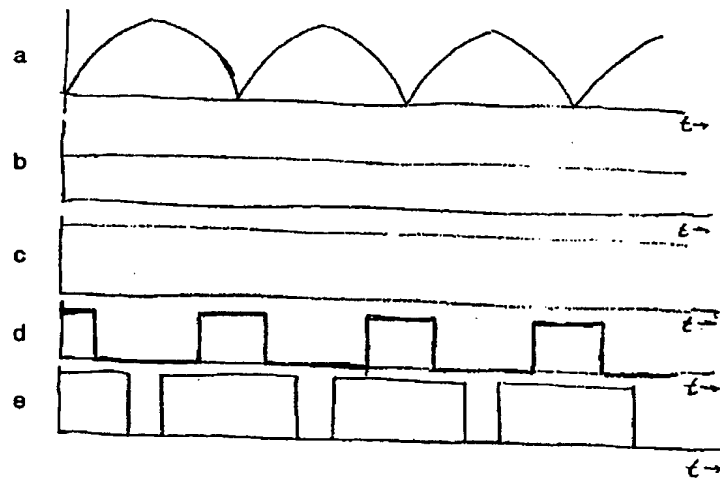
【図 4】



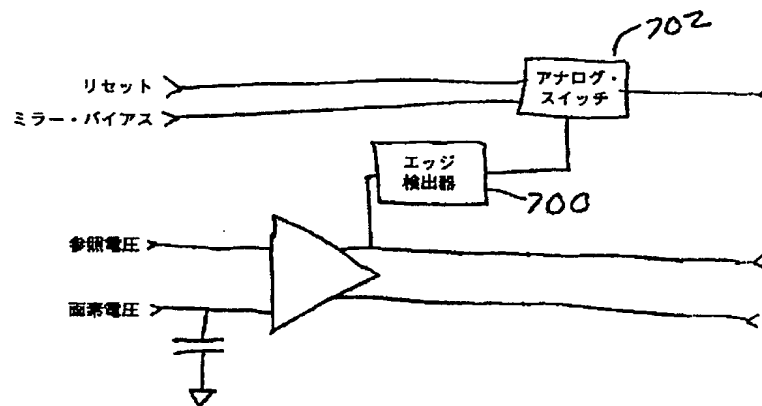
【図 5】



【図6】



【図7】



【図9】

